

## **ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ**

УДК 631.445 (476)

### **МИГРАЦИЯ НИТРАТОВ ПО ПОЧВЕННОМУ ПРОФИЛЮ**

**Л. Кинчюс, А. Поцене**, *доценты, доктора технических наук*

**С. Поцюс**, *доктор технических наук*

Литовский сельскохозяйственный университет

Каунас, Литва

*Ключевые слова:* концентрация нитратов, миграция, динамика, почвенный профиль

#### **Введение**

Состояние природной среды территории лучше всего можно охарактеризовать химическим составом воды, и одним из основных индикаторов являются нитраты. Их наличие в воде опасно для здоровья человека. Для правильной эксплуатации осушаемых участков чрезвычайно важно знать химический состав дренажных вод, размеры и динамику выноса нитратов этими водами, чтобы предупредить отрицательное воздействие осушительных мелиораций на почву. Определив возможности попадания питательных веществ растений в дрены, можно не только рационально использовать удобрения для выращивания сельскохозяйственных культур, но и выяснить ту роль, которую играет дренаж в загрязнении вод, так как мнение ученых по этим вопросам не совпадает. Для достижения указанной цели в лаборатории выполнены исследования миграции нитратов в почвенном профиле.

Для исследования миграции соединений азота были использованы почвенные образцы ненарушенной структуры. Почва – легкий суглинок. Образцы брались путем вбивания в почву пластмассовых труб длиной 50 см и диаметром 50 мм. Чтобы избежать высыхания почвы после взятия образцов, концы труб сразу же обвязывались полиэтиленовой пленкой. Перед началом исследований устанавливались начальная влажность каждого слоя почвы и количество нитратов в почвенном растворе. Образцы почвы изымались послойно каждые 10 см. В лаборатории исследовались четыре варианта: I – солевой раствор нитратов заливался на почвенный монолит сверху, позволяя ему мигрировать под воздействием силы тяжести при отсутствии фильтрации; II – труба с почвой помещалась в солевой раствор нитратов (концентрация 200 мг/л), миграцию раствора вызывали капиллярные силы; III – труба с почвой помещалась в солевой раствор нитратов с вдвое меньшей концентрацией; IV – почвенный образец помещался в дистиллированную воду. Каждый опыт выполнялся двойным повторением. Для каждого варианта бралось по 10 монолитов. Зная начальную влажность почвы, подсчитывался объем заливаемого сверху раствора (I вариант). Расчетами установлено, что при заливании 100 мл раствора, влажность почвы по всей длине монолита не превысит наименьшую влажность полевой почвы. Продолжительность опытов зависела от скорости рассеивания

химических веществ. В I варианте миграция осуществлялась очень медленно, и опыт длился 150 дней. Продолжительность других исследований – 15-21 день. По прошествии установленного количества дней, из двух труб почва изымалась послойно с тремя повторениями. Исследовалась влажность почвы и концентрация нитратов в ней.

Для графического оформления полученных результатов использовался конструктор диаграмм ChartWizards и программа Surfur.

*Исследование диффузионной миграции нитратов при отсутствии фильтрации.* С вопросами миграции подземных вод сталкиваются, выясняя проблемы их загрязнения. Понимание некоторых особенностей миграции подземных вод возможно при изучении движения воды при неполном насыщении почвы водой в зоне аэрации.

В подземной гидросфере процессы обмена масс связываются со средой, в исследуемом случае с почвой, находящейся в зоне аэрации. Ввиду влияния многих факторов, исследовать и установить химические элементы и их соединения, находящиеся в подземных водах, а также законы их миграции в полевых условиях довольно сложно. А в лабораторных условиях возможно устранение или более точное определение некоторых факторов. К процессам миграции относятся (Шестаков, 1995): *молекулярная диффузия*, возникающая по причине градиента концентрации жидкости (гравитационная конвекция); *конвективный* (геофильтрационный) перенос вещества, обуславливаемый градиентом гидравлического давления; *продольная гидродисперсия* – распространение вещества из-за различия скоростей движения отдельных течений в потоке (процесс определяет отличие размеров почвенных пор); *поперечная дисперсия* – распространение вещества в разных направлениях в связи с неоднородностью породы. Молекулярная диффузия проявляется между растворами различной концентрации и является фактором рассеивания вещества.

К другой группе процессов миграции принадлежит физико-химическая трансформация находящегося в воде вещества и взаимодействие этого вещества и воды с почвой, а также сорбция, биохимические процессы (нитрификация, денитрификация). Все эти процессы замедляют скорость переноса загрязненного вещества, меняя его концентрацию.

Основную роль в формировании химического состава воды, находящейся в почве, играют конвекция и корни растений, питающиеся почвенным раствором. После залива раствора известной концентрации на монолит исследуемой почвы, происходит выравнивание концентрации почвенного раствора по всему объему монолита, другими словами, диффузия.

#### **Объекты и содержание исследований**

В 1999-2000 гг. выполнялись лабораторные исследования, моделирующие попадание раствора нитратов на поверхность земли (это могут быть осадки, в которых содержится определенное количество растворенных веществ, удобрения, попавшие на поверхность земли). На поверхность монолита почвы вылито 100 мл раствора нитратов, концентрация которого  $c_{\text{NO}_3^-} = 200$  мг/л (такая концентрация соответствует примерно

170 кг N га<sup>-1</sup> удобрений, растворенных в осадках в период вегетации). В Директиве о нитратах указано, что количество азота, попадающее с навозом, не должно превышать 170 кг на один гектар. Потребность ячменя в азоте при возможном урожае 4,0 т·га<sup>-1</sup> – 86 кг·га<sup>-1</sup> (Pažangaus ūkininkavimo taisyklės ir patarimai, 2000).

В пористой среде диффузия происходит по тем же законам, как и в свободном пространстве. В случае полного водонасыщения почвы большое влияние на численные значения  $Dm$  имеет пористость, а в случае неполного водонасыщения – количество раствора, находящегося в почве. В процессе опыта с течением времени устанавливалась не только концентрация находящегося в почве раствора, но и влажность почвы (рис. 1а).

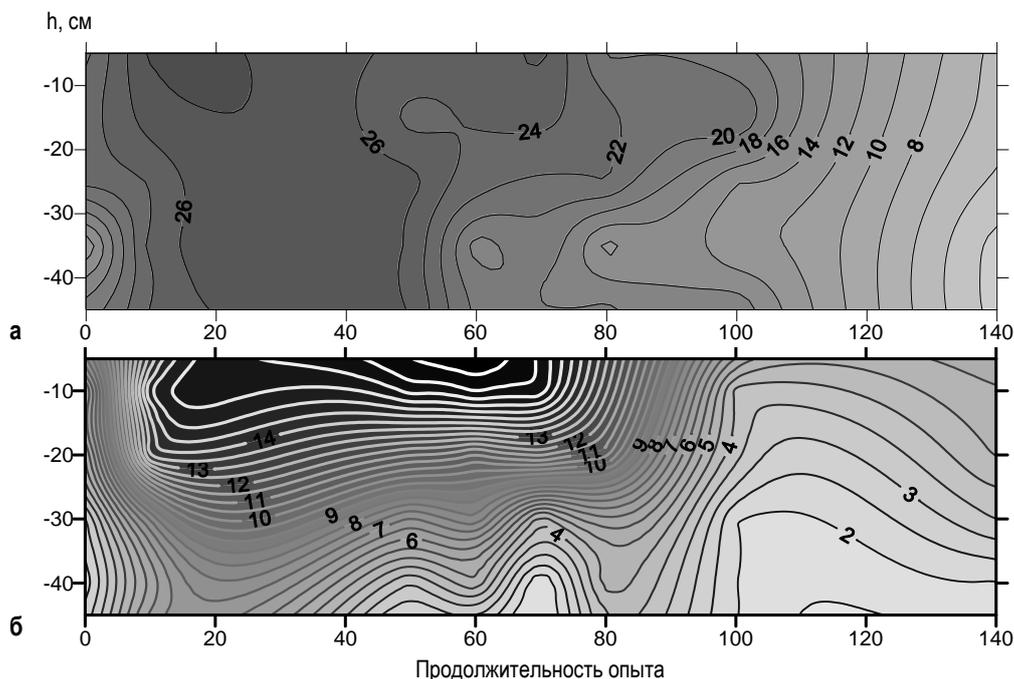


Рис. 1. Динамика объемной влажности (а) и нитратов (б) в почвенном монолите после залива раствора  $C_{\text{но}_3^-} = 200 \text{ мг/л}$  (влаги в мм, нитраты в мг/л)

### Результаты и обсуждение

После залива раствором концентрация нитратов значительно увеличилась в верхних двух слоях. В 4-5 нижних слоях концентрация нитратов почти не изменилась и осталась близкой к начальной (рис. 1б). Незначительное увеличение количества нитратов в этих слоях на пятый день опытов, когда увеличилась влажность слоев. Через 5 дней после залива во всех слоях установилась наименьшая полевая почвенная влажность. Таким образом, у нитратов появилась возможность двигаться по всем слоям почвы. На 60-й день опытов в верхнем слое почвенного монолита достигнута наибольшая концентрация нитратов – 17,5 мг/л. Влажность почвы все еще была близкой к наименьшей полевой почвенной

влажности. Влажность нижних почвенных слоев (30-50 см) была меньше, чем верхних. В этих слоях концентрация нитратов небольшая, даже меньше начальной. Однако на 80-й день опытов, с началом высыхания почвы (рис. 1а), в верхних слоях концентрация нитратов начала уменьшаться, а в нижних – увеличиваться. Когда почва сильно подсохла, концентрация нитратов почти во всех слоях выровнялась и стала во всех пяти слоях близкой к бывшей перед началом опытов. Чтобы не вызвать конвекционную миграцию, был подсчитан объем заливаемого раствора. Установив начальную влажность почвы, и зная ее водоносные свойства, было залито 100 мл раствора. Количество влаги в почвенном монолите было в оптимальных пределах, поэтому не происходил конвекционный перенос вещества.

Проведенные исследования подтвердили рекомендации удобрять поля в тот момент, когда в почве нет избытка влаги, и происходит диффузия раствора.

*Исследования конвективного переноса вещества.* Это один из самых важных процессов миграции подземных вод. Конвективный перенос массы вещества – это его перенос течением потока, когда скорость движения воды (растворителя) совпадает со скоростью движущегося в ней вещества, а притекающая вода выталкивает присутствующую воду другой концентрации. В процессе выталкивания растворы различной концентрации не перемешиваются, и их разделяет явная черта. Миграция такого характера называется *процессом поршневого отталкивания* или *поршневого выталкивания* (Dobkevičius, 2001). В реальных условиях на конвективную геофильтрацию одновременно воздействуют молекулярная диффузия и гидродиффузия. По этой причине формируется переходная зона, в которой и перемешиваются растворы различной концентрации: в направлении потока – из-за гидродисперсии и молекулярной диффузии, поперек потока – из-за молекулярной диффузии. Разные скорости движения вод также возникают из-за отличий их плотности. Например, использованный раствор нитратов по сравнению с почвенным раствором имеет большую плотность, и образуется так называемый «гравитационный градиент». Конвекция возможна лишь при использовании внешней энергии. В случае испытания в лаборатории перенос вещества происходит под влиянием капиллярных сил.

Выполнялись три опыта: в первом случае по капиллярам поднимался раствор нитратов, концентрация которого была 200 мг/л, во втором – раствор нитратов с концентрацией 100 мг/л, в третьем – дистиллированная вода. Движение раствора возбуждали капиллярные силы почвы (рис. 2). Опыты проводились 15-21 день. После замачивания монолита почвы в растворе с концентрацией 200 мг/л, на следующий день в верхнем слое (0-10 см) установлено увеличение концентрации нитратов с 4,5 до 8,42 мг/л (рис. 2а). Через два дня с начала опытов концентрация нитратов в этом слое достигла максимальной – 20,2 мг/л. В первые дни опытов увеличение концентрации нитратов отмечалось и в слое почвы 10-20 см. Максимальная установленная концентрация нитратов достигала 13,9 мг/л. На седьмой день опытов, исследовав образцы каждого слоя почвы, установили, что количество нитратов в почве значительно уменьшилось и приблизилось к начальной концентрации.

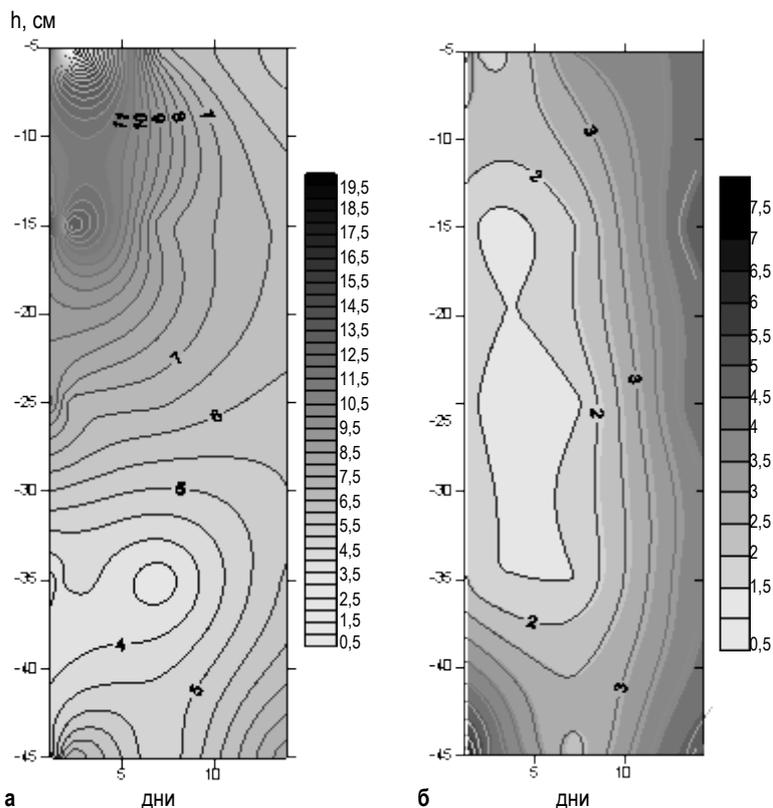


Рис. 2. Динамика нитратов в почвенном монолите, помещенном в растворе  $\text{NO}_3^-$  с концентрацией 200 мг/л (а) и 100 мг/л (б)

Уменьшение нитратов, согласно циклу азота, должен был вызвать процесс денитрификации, потому что через 7 дней с начала опытов влажность в почве превышала оптимальную. Из цикла азота ясно, что с недостатком в почве кислорода идет процесс денитрификации и происходит редукция  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , а также  $\text{N}_2$ . В 20-30-, 30-40-, 40-50-сантиметровых слоях почвы изменения количества нитратов не были такими динамичными. Во втором снизу (30-40 см) слое установлена наименьшая концентрация нитратов, в первый день после замачивания она даже уменьшилась на 1 мг/л. По прошествии 14 дней концентрация выровнялась по всему монолиту почвы и только на 1-2 мг/л превышала начальную. В 40-50-сантиметровом слое, который имел прямой контакт с раствором, в конце опыта установлено увеличение концентрации на 5 мг/л.

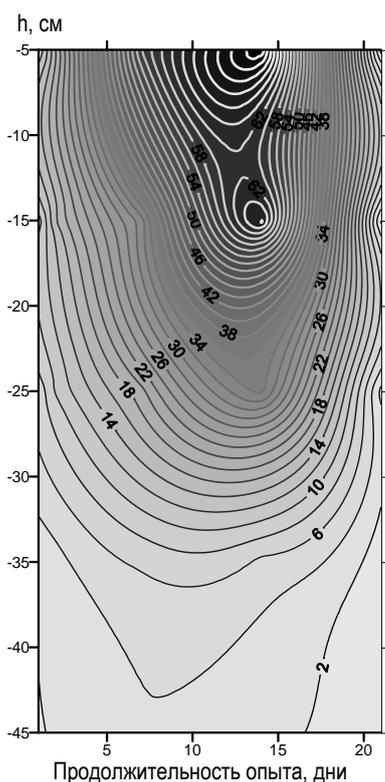
Иные процессы установлены в почвенном монолите, помещенном в растворе вдвое меньшей концентрации (рис. 2б). По прошествии одного дня после замачивания, в растворе с концентрацией 100 мг/л наибольшая концентрация установлена в нижнем (40-50 см) слое – 6,7 мг/л. В верхнем слое также определено незначительное увеличение нитратов, а в других слоях установлены почти одинаковые малые количества (2,06 мг/л). Через два дня количест-

во нитратов уменьшилось до 1,16–1,4 мг/л. В нижнем слое концентрация нитратов уменьшилась, однако осталась в три раза больше, чем в остальных слоях. На седьмой день исследований установлено увеличение нитратов в слое 0-10 см до уровня первого дня, а в нижнем слое количество нитратов на столько же уменьшилось. На четырнадцатый день с начала исследований количество нитратов, как и во время первого опыта, выровнялось по всей длине монолита, а наибольшая концентрация нитратов (0,56 мг/л) установлена в нижнем слое.

Определено (рис. 2 а, б), что изменения концентрации нитратов в почвенном растворе зависят не только от местоположения монолитного слоя, но и от того, какой концентрации раствор поднимается по капиллярам монолита почвы. В этом случае, как было объяснено в начале статьи, оказал влияние гравитационный градиент жидкостей.

Когда по капиллярам поднималась дистиллированная вода, концентрация нитратов в 0-10 сантиметровом слое почвенного монолита за 13 суток увеличилась в 7,5 раза, в то время как концентрация почвенного раствора нижнего слоя (40-50) см практически осталась неизменной на протяжении всего времени эксперимента (рис. 3).

Концентрация поднимающегося по капиллярам раствора влияет не только на значение максимальной концентрации раствора в почвенном монолите, но и на время, за



**Рис. 3. Динамики нитратов в почвенном монолите, помещенном в дистиллированной воде**

которое это максимальное значение достигается. Когда по капиллярам поднимается дистиллированная вода, максимальная концентрация этого раствора – 75,8 мг/л достигается за 13 дней с момента начала опытов, а когда по капиллярам поднимается раствор, начальная концентрация которого 200 мг/л, максимальная концентрация почвенного раствора в слое 0-10 см достигается через 2 дня, т.е. в 7 раз быстрее.

Дистиллированная вода медленнее «вытесняла» нитраты в верхний слой монолита, так как в этом случае проявился лишь процесс поршневого вытеснения, не образовался ни градиент гравитации, ни градиент концентраций. Плотности жидкостей отличаются ( $\rho_{\text{раств}} > \rho_{\text{воды}}$ ), поэтому граница фронта вытеснения отклонилась от перпендикулярного положения: более тяжелый раствор проник в более легкий (рис. 3). Когда по капиллярам поднималась дистиллированная вода, происходил процесс промывания нижних слоев почвы. На 21-й день с начала опытов количество нитратов во всех слоях было минимальным и не достигало 2 мг/л, особенно низкое содержание нитратов установлено в слое 40-50 см – 0,42 мг/л.

Рассмотрев режим почвенной влажности в монолите, было замечено, что при движении по капиллярам раствора, в котором концентрация нитратов была 200 мг/л, влажность за 14 дней опытов достигала от 8,9 до 13,5 % по высоте монолита. Это значительно меньшие изменения, нежели изменения концентрации почвенного раствора за тот же период времени.

В опыте с дистиллированной водой за пятнадцать дней влажность почвенного монолита изменялась в более широких пределах – 7,6-19,3 %.

Установлено, что уже после первого дня с начала опытов, в случае движения по капиллярам раствора нитратов, влажность по всей высоте монолита превышала влажность монолита, по которому поднималась дистиллированная вода.

Влажность верхнего слоя почвы и в том, и в другом случае выровнялась по прошествии семи дней. Раствор нитратов поднимался по капиллярам быстрее, чем дистиллированная вода из-за влияния градиента концентраций.

### **Выводы**

1. При оптимальной почвенной влаге происходит диффузия нитратов, при которой до 30 раз медленнее происходит миграция нитратов, чем при конвективном переносе вещества.

2. Дифференцированно подбирать время внесения удобрений, удобрять только при оптимальной почвенной влаге.

### **Литература**

1. Dobkevičius M, 2001. Hidrogeodinamika. Enciklopedija, – 359 p.
2. Kučinskas J., Pekarskas J., 1999. Agrochemija. – Kaunas: leidykla „Lututė“, – 338 p.
3. Основы гидрогеологии (гидрогеохимия), 1982. – Новосибирск. – 286 с.
4. Pažangaus ūkininkavimo taisyklės ir patarimai, 2000. Kėdainiai, Vilainiai. – 63 p.
5. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. – М.: МГУ, 1995. – 368 с.

### **Summary**

#### ***Kinchus L., Potsene A., Potsus S. Nitrate migration in soil profile***

The contamination of surface and underground water with nitrates is one of the main concerns in nature protection. In the Lithuania the rainfall exceeds significantly the evaporation contributing to soil rinsing and consequently the process of salt leaching of the soil profile and salt production over reclamation area. Nitrogen is lightly washed out as nitrate due to lack of resistance in soil. The investigations of the dynamics of nitrate migration in cores of the original structure evidenced subject to water relationship of soil nitrate diffusion under the utmost soil water conditions, and nitrate migration is 30 time slower than under convective transport of substances.

*Поступила 16 марта 2007 г.*